

CONTRIBUTION A LA MODELISATION DES APPROCHES DE COOPERATION EN E-MAINTENANCE

Anis CHELBI, Mohamed Radhouane BENNOUR

Centre de Recherche en Productique (CEREP)
École Supérieure des Sciences et Techniques de Tunis
5 Av. Taha Hussein-Tunis, Tunisia
anis.chelbi@planet.tn ; radhouan5@yahoo.fr

Noureddine ZERHOUNI

Laboratoire d'Automatique de Besançon (LAB)
Université de Franche comté
Besançon, France
noureddine.zerhouni@ens2m.fr

RESUMÉ :

Ce travail traite des problèmes liés à la modélisation de la coopération entre différents agents (experts) situés à différents endroits, pour aider à diagnostiquer et à réparer des défaillances, dans un contexte de e-maintenance. Nous proposons des façons d'organiser la coopération entre les experts et de rendre l'information nécessaire à leur diagnostic suffisamment disponible. Ceci tenant compte de plusieurs facteurs dont la disponibilité des experts, le caractère hétérogène des moyens de communication, et l'évolution dans le temps de l'état des installations à maintenir. Pour cela, nous avons adopté une méthodologie basée sur les modèles de Trenteseau, utilisant également les réseaux de Petri et la simulation. Des résultats de simulation de différentes situations seront présentées et discutées par rapport aux hypothèses et aux indicateurs de performance adoptés.

MOTS-CLES : *E-maintenance, coopération, Réseaux de Petri, simulation, agents.*

1. INTRODUCTION

La fonction maintenance connaît depuis quelques années des mutations importantes tant au niveau technique qu'au niveau organisationnel. L'avènement des nouvelles technologies de l'information et de la communication représente le moteur principal derrière ces mutations. Les chercheurs et praticiens tentent d'appliquer ces nouvelles technologies depuis quelques années pour aider à la résolution d'un certain nombre de problèmes liés à la maintenance (Hung, 2003, Ulrich, 2004). Nous voyons ainsi apparaître les concepts de maintenance à distance ou de e-maintenance mettant en œuvre une coopération entre différents agents (experts) situés à différents endroits, pour aider à diagnostiquer et à réparer des défaillances.

Plusieurs problèmes reliés à cette coopération à distance entre experts demeurent posés à ce jour, particulièrement au niveau de la modélisation du processus de coopération pour tenir compte, entre autres, de la disponibilité des experts, du caractère hétérogène des moyens de communication, de l'accès aux données partagées, etc. Dans le cadre de ce travail nous nous intéressons à la modélisation de la coopération entre les différents intervenants lors d'une opération de e-maintenance.

Dans la section 1, nous revenons sur les concepts de base de la maintenance et nous présentons ensuite le concept de la e-maintenance et ses différentes applications. La section 2 présente des notions fondamentales liées aux agents et aux systèmes multi-agents (SMA). L'accent est mis sur plusieurs aspects fondamentaux relatifs à la coopération entre agents et aux systèmes coopératifs en

général et cognitifs en particulier. Dans la troisième section nous proposons une approche de modélisation de l'organisation de la coopération en e-maintenance avec pour objectif principal de modéliser, d'une façon la plus flexible que possible, les agents coopérants et leurs comportements interne et externe. Enfin dans la section 4, nous prospectons les possibilités de réaliser des simulations de processus coopératifs de e-maintenance. Un exemple simple est traité sous un ensemble d'hypothèses de travail.

2. MAINTENANCE ET E-MAINTENANCE

D'une façon générale, lors de toute intervention corrective sur un équipement, on peut distinguer cinq phases : la phase de détection de la défaillance, la phase de diagnostic, la phase de logistique (le rassemblement des ressources humaines, des pièces de rechange et de l'outillage nécessaires à la réparation), la phase de réparation et la phase de contrôle. L'augmentation de la disponibilité de l'équipement passe inéluctablement par un effort continu de réduction de la durée de chacune des cinq phases citées.

L'une des phases les plus importantes et sur laquelle reposent les phases subséquentes est celle du diagnostic. En effet, un diagnostic rapide et fiable dès la détection de l'anomalie permet généralement des économies substantielles de temps et d'argent. Un tel diagnostic nécessite une excellente connaissance des équipements en question et un certain degré de spécialisation (une certaine expertise) des intervenants. La complexité et la diversité des équipements d'aujourd'hui font que l'on doit de plus en plus faire appel à plusieurs experts à la

fois qui ne se trouvent pas forcément tous sur le site de l'équipement. Ces experts doivent travailler ensemble donc interagir et coopérer pour trouver des solutions fiables dans des délais les plus courts que possible. D'où émerge la notion de coopération.

L'avènement des nouvelles technologies de l'information et de la communication a permis de développer des systèmes informatiques pour faciliter les interactions expert/expert et expert/client localement et à distance. De tels systèmes sont connus comme des systèmes de e-maintenance et trouvent leurs applications dans de nombreux domaines tels que l'informatique, l'armée, l'industrie, etc. Les systèmes de e-maintenance industrielle sont composés de deux parties principales qui sont en interaction : le ou les centres expert(s) et le ou les sites à maintenir (voir la figure 1).

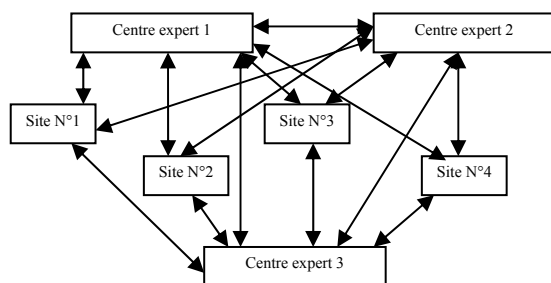


Figure 1. Interactions entre les composants d'un système de e-maintenance

3. AGENTS ET COOPERATION

Un système de e-maintenance peut être assimilé à un Système Multi-Agents (SMA) coopératif (Erceau J. et Ferber J., 1991), (Florea A.M.), (Sébastien P., 2003). C'est un système distribué composé d'un ensemble d'agents (Erceau J. et Ferber J., 1991). Généralement, on distingue deux types d'agents : des agents réactifs et des agents cognitifs (Florea A.M.), (Sébastien P., 2003). Chaque agent dispose d'un nombre limité d'informations et de connaissances et des capacités limitées de résolution de problèmes. De ce fait émerge l'utilité de la coopération entre ces agents en vue de résoudre des problèmes de e-maintenance.

Pour pouvoir coopérer, les agents doivent constituer un groupe de travail et échanger des informations à travers un réseau de communication (Erschler J. et al., 1997), (Ferber J., 1994), (Pavard B., 1994). Ils mettent en interaction leurs comportements, leurs connaissances et leurs modes de raisonnement propres (Beuscart R. et al., 1994), (Inbar M., 1979), (Martin J.C., 1999), (Newton., 1985). Durant cette coopération, les membres coopérants se répartissent et se partagent des tâches, des informations et des ressources via un système de communication. Ceci nécessite une coordination et une organisation pour limiter les conflits éventuels et les résoudre (Ferber J., 1994).

En e-maintenance, les experts intervenants qui sont considérés comme des agents cognitifs peuvent être assimilés à des centres de décision. Ils reçoivent des demandes d'intervention et adoptent un objectif commun qui est « la résolution d'un problème de maintenance – diagnostic d'une panne par exemple » vis-à-vis duquel ils vont prendre des décisions et par suite des actions. Pour cela, ils Perçoivent, Analysent, Décident et Agissent (Pavard B., 1994). Tout cela en communiquant et dans le cadre d'un processus de coopération. Nous proposons dans la prochaine section une façon de modéliser cette coopération.

4. MODELISATION

Dans la perspective de modélisation d'un processus de coopération, il est d'abord important de se rappeler que la coopération n'est pas instantanée, elle se fait dans le temps, elle est donc dynamique. On peut distinguer essentiellement : les temps de transfert des informations, les temps de conception des solutions, les temps nécessaires pour le choix d'une solution parmi plusieurs, etc. Ces temps peuvent être relativement longs surtout lorsque les individus coopérants ont des objectifs contradictoires ou n'ont pas les mêmes affinités (exemple : certains peuvent chercher à attaquer le problème à sa source alors que d'autres peuvent viser seulement le dépannage en agissant sur les effets et non sur les causes). Ceci peut facilement entraîner des conflits et un processus de négociation qui s'étend dans le temps.

Il importe également de souligner que le temps que les informations sont échangées entre les experts et que la négociation a lieu, l'équipement à maintenir pourrait continuer à évoluer en générant par exemple d'autres symptômes qui seraient très utiles au diagnostic et qui pourraient même faire changer le processus de recherche de solutions. Cette interaction dynamique fait que le comportement global du système d'expertise de e-maintenance peut être perturbé et les solutions et décisions qui sont générées peuvent être périmées par rapport à la nouvelle réalité du terrain.

À cela peut s'ajouter la contrainte liée à la disponibilité des experts. En effet, pendant une session donnée de coopération entre experts, un ou plusieurs parmi eux déjà engagés dans cette coopération peuvent être appelés à intervenir sur une autre panne d'un autre équipement sur un autre site pendant une certaine période d'inactivité (attente de données supplémentaires demandées au technicien sur le site, ou attente de téléchargement d'informations à partir d'une base de données techniques hébergée sur un site distant).

Il s'agit donc de proposer une approche de modélisation qui tienne compte de ces facteurs liés aux aspects temporel et dynamique de la coopération expert/expert, expert/technicien sur site ou d'une façon plus générale de la coopération système d'expertise distribué/système à maintenir.

Tenant compte des aspects développés ci-dessus, les recherches que nous avons effectuées ont été orientées vers une approche de modélisation qui soit assez générique aussi bien dans la représentation d'un expert que dans la représentation de la coopération entre experts. Nous avons finalement adopté une approche basée sur le modèle de Trentesaux qui avait été développé pour les centres de décision dans le réordonnement distribué (Le Quere Y. et al., 2003). Le modèle de Trentesaux utilise une représentation par les réseaux de Pétri. Nous présentons dans ce qui suit une description du modèle proposé d'abord à l'échelle d'un individu et ensuite à l'échelle d'un groupe.

4.1. Mise en œuvre du modèle pour l'individu

4.1.1 Comportement interne

Un membre coopérant (expert) est assimilé à un centre de décision qu'on représente par le réseau de Trentesaux de la manière suivante (voir figure 2) :

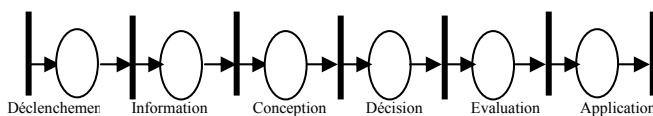


Figure 2. Modèle d'un centre de décision

Ce modèle représente six phases qu'on définit comme suit :

- Phase de détection ou de déclenchement : dans cette phase l'individu reçoit une requête l'incitant à intervenir et à coopérer. Il se rend compte du problème au cours de cette phase.
- Phase d'information ou de renseignement : c'est la phase durant laquelle l'individu cherche dans ses propres connaissances ou demande des informations à d'autres individus ou centres d'informations concernant le problème posé et le système concerné.
- Phase de conception : Phase durant laquelle l'individu conçoit une ou plusieurs solutions tout en tenant compte des différentes contraintes.
- Phase de décision : Pendant cette phase l'individu produit une liste de solutions possibles pour l'étape suivante.
- Phase d'évaluation : Dans cette phase, l'individu procède à l'évaluation des différentes solutions et effectue son choix.
- Phase d'application : Phase durant laquelle l'individu transmet, applique ou fait appliquer la solution choisie.

Le modèle de Trentesaux pour les centres de décision permet de modéliser le fonctionnement et le comportement interne d'un membre coopérant lors d'une coopération. Un intervenant peut passer directement d'une phase à une autre, revenir sur une phase, ou sauter une phase, etc.

4.1.2 Comportement externe

Ils s'agit ici de modéliser le comportement d'un centre de décision vis-à-vis de son environnement. Pour cela, nous représentons cinq aspects qui caractérisent ce fonctionnement ou comportement externe :

- La disponibilité d'un agent coopérant à un moment donné.

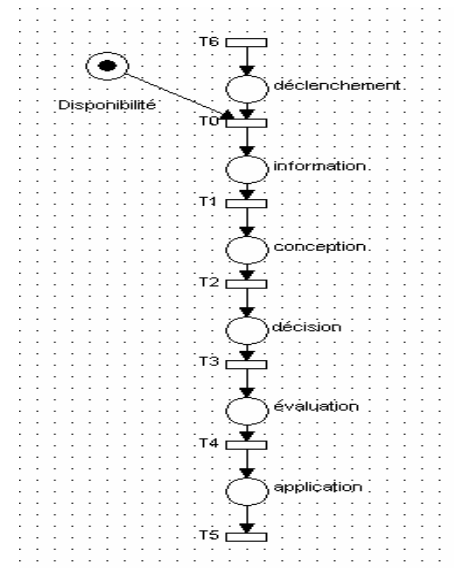


Figure 3. Modélisation de la disponibilité d'un membre coopérant

- La diffusion (envoi de messages non dédiés à plusieurs personnes ou centres de décision).

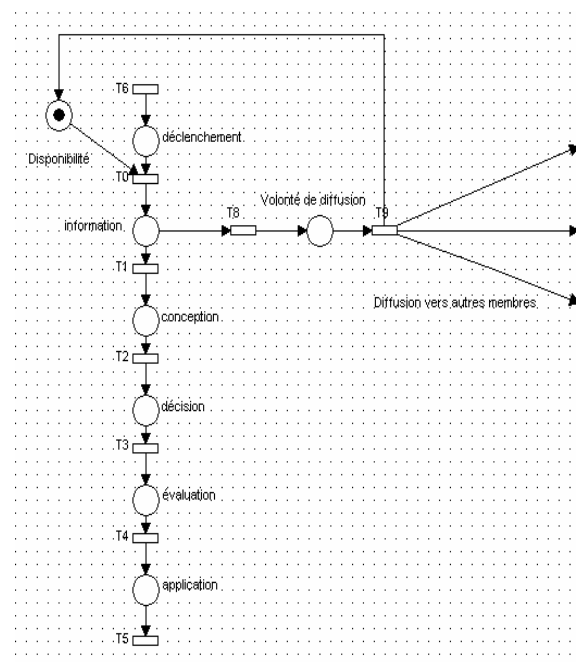


Figure 4. Modélisation de la diffusion

- La communication (envoi de messages « dédiés » à un membre du groupe de coopération, ceci en mode synchrone ou asynchrone.

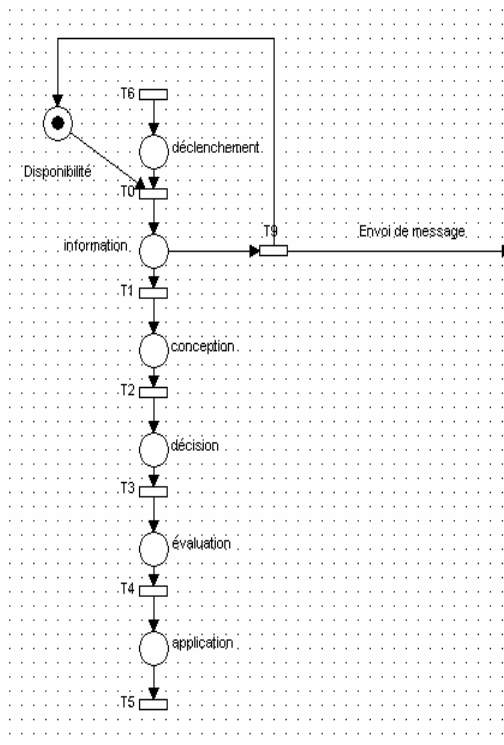


Figure 5. Modélisation d'une communication asynchrone

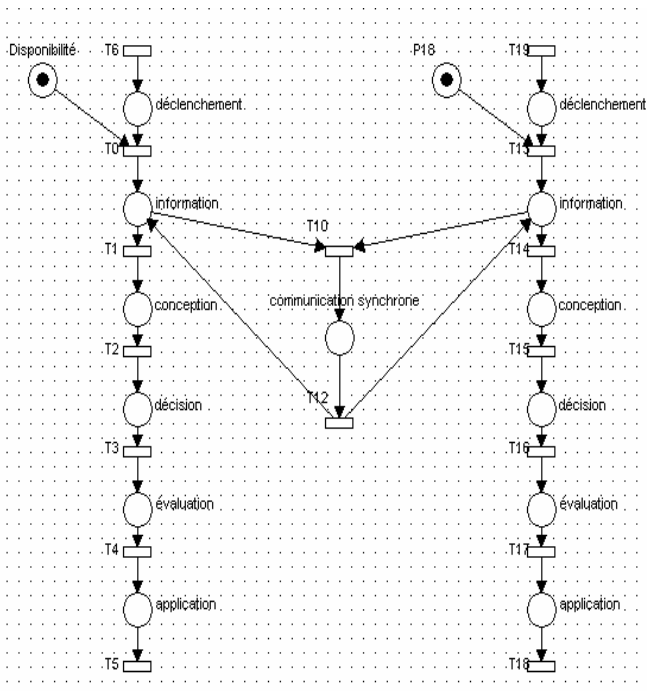


Figure 6. Modélisation d'une communication synchrone entre deux membres coopérants

- L'accès aux données partagées.

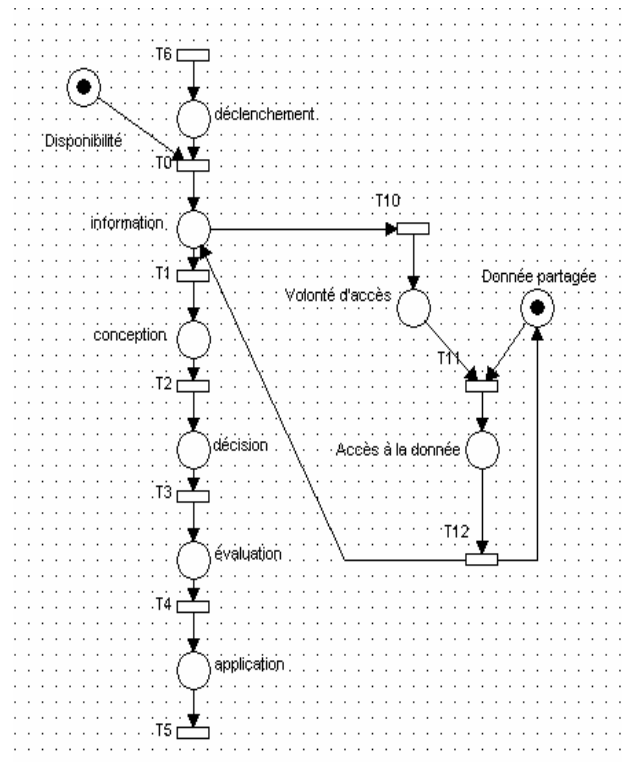


Figure 7. Modélisation de l'accès à une donnée partagée

- La mobilité (mobilité des experts intervenants d'une plate-forme de travail à une autre selon la séquence avec laquelle ils sont sollicités).

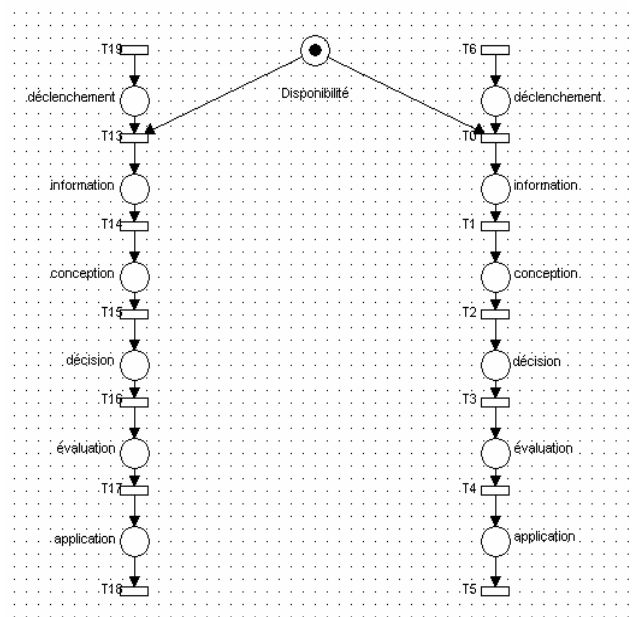


Figure 8. Modélisation de la mobilité d'un expert entre deux plates-formes

4.2. Mise en œuvre du modèle pour le groupe

On peut considérer trois types d'acteurs principaux participant à une opération de e-maintenance :

- Le système à maintenir (site, machine, ou le malade en médecine)
- Le technicien sur le site
- L'expert ou les experts intervenants à distance

Les techniciens et les experts sont assimilés à des centres de décision décrits par leurs réseaux de Trentesaux respectifs, alors que l'installation à maintenir est représentée de la manière suivante (figure 9):

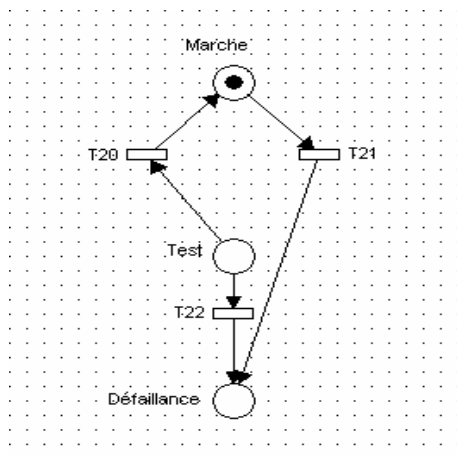


Figure 9. Modélisation d'un site à maintenir

5. SIMULATION ET PERSPECTIVES

La performance d'un processus coopératif de e-maintenance en général et de diagnostic de panne à distance en particulier peut se mesurer à l'aide d'indicateurs tels que le temps moyen de diagnostic, le temps moyen de réparation, le taux d'erreur de diagnostic, etc. Cette performance varie en fonction de plusieurs paramètres liés à la nature des défaillances, à la technologie de communication utilisée, au choix des experts et à leur qualité, au type d'information échangée, etc.

Il importe de pouvoir étudier l'influence de ces paramètres sur la performance globale d'un processus de e-maintenance. La simulation apparaît comme un outil indispensable pour pouvoir réaliser ce type d'étude. Nous avons réalisé une première exploration des possibilités de simulation à l'aide du logiciel HPSIM (version démo 1.1) en considérant un exemple simple de coopération impliquant une machine à diagnostiquer, un technicien sur site et un expert distant.

La figure suivante montre la formulation du problème à l'aide de HPSIM sur la base de l'approche de modélisation développée dans la section précédente et tenant compte des limites du logiciel :

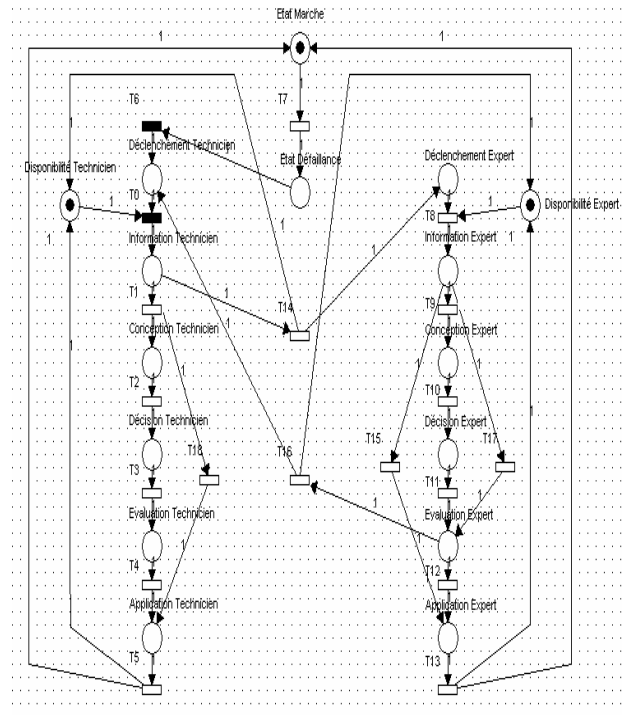


Figure 10. Exemple de Simulation à l'aide de HPSIM

Les caractéristiques des intrants du système considéré se présentent comme suit (ils ont été arbitrairement choisis):

- La machine :

Pour l'ensemble des simulations réalisées, on considère que le temps entre deux pannes successives suit une loi exponentielle de moyenne $1/\lambda = 6000$ minutes.

On considère que la défaillance est détectée instantanément. Ceci se traduit par une transition immédiate de la phase 'État défaillance' à la phase 'Déclenchement technicien'.

- Le technicien :

Ses caractéristiques sont définies par les temps relatifs aux différentes phases de son réseau de Trentesaux (Déclenchement, Information, Conception, Décision, Évaluation et Application).

- L'expert :

Ses caractéristiques sont aussi définies par les temps relatifs aux différentes phases de son réseau de Trentesaux (Déclenchement, Information, Conception, Décision, Évaluation et Application).

- Les temps de transmission des messages :

Le temps de communication est fonction de la taille du message envoyé d'une part et du support de communication utilisé d'autre part. On peut considérer que ces temps sont non déterministes si on prend en considération les aspects liés au trafic réseau et à l'interconnexion des réseaux.

Nous adoptons le temps moyen de diagnostic d'une panne MDT (Mean Diagnostic Time) comme critère de performance du processus de e-maintenance considéré.

On présente dans ce qui suit les résultats des simulations qui ont été faites pour l'exemple choisi selon trois configurations différentes et sur un horizon de temps de 64800 minutes soit 45 jours.

Pour chaque configuration des intrants, on effectue dix réplifications au total, chacune sur l'horizon de 64800 minutes. Une réplification contient un certain nombre de pannes générées aléatoirement selon une loi exponentielle de paramètre 1/6000, et un temps de diagnostic correspondant à chaque panne. La moyenne de ces temps de diagnostic donne le temps moyen de diagnostic sur une réplification. La valeur du critère de performance adopté (MDT) est donnée par la moyenne des dix moyennes de temps de diagnostic obtenus.

On part d'une première configuration décrite comme suit :

Technicien :

PHASE	Déclenchement	Information	Conception	Décision	Évaluation	Application
Temps	0	Loi uniforme [1,30] minutes	Loi exponentielle de moyenne 60 minutes	Loi exponentielle de moyenne 20 minutes	Loi exponentielle de moyenne 15 minutes	Loi exponentielle de moyenne 60 minutes

Tableau 1. Caractéristiques du technicien (configuration # 1)

Expert :

PHASE	Déclenchement	Information	Conception	Décision	Évaluation	Application
Temps	Loi exponentielle de moyenne 30 minutes	Loi exponentielle de moyenne 15 minutes	Loi exponentielle de moyenne 40 minutes	Loi exponentielle de moyenne 10 minutes	Loi uniforme [1,15] minutes	Loi exponentielle de moyenne 10 minutes

Tableau 2. Caractéristiques de l'expert (Configuration # 1)

On fait varier dans un premier temps la qualité de l'expert en envisageant un expert plus performant (temps d'information, de conception, de décision et d'application plus faibles), et plus disponible (temps de déclenchement plus faible). Ensuite, dans une troisième configuration on réduit le temps de communication de l'information. Ce temps est fonction de la taille des messages échangés et du support de communication utilisé.

Les résultats suivants ont été obtenus. À noter que pour chaque réplification, le processus de diagnostic peut être fait soit par le technicien seul soit à la suite d'une coopération entre le technicien et l'expert distant.

Configuration	# 1	# 2	# 3
MDT (Technicien seul & Technicien+Expert)	65 minutes	47 minutes	55 minutes
MDT (coopération Technicien+Expert)	75 minutes	35 minutes	67 minutes

Tableau 3. Tableau comparatif des trois configurations

Les caractéristiques intrinsèques à la méthode de modélisation et, dans une plus grande mesure, la version de

démonstration du logiciel HPSIM que nous avons utilisée et qui offre des fonctionnalités très limitées nous ont imposé un nombre important de contraintes. En utilisant un formalisme adéquat associé à l'aspect temporel et des outils de simulation plus puissants, il serait possible de simuler des cas complexes de coopération en partant de ce travail. Les extensions dans ce sens sont actuellement en cours de réalisation.

REFERENCES

- Beuscart R., Yousfi F., Dufresne E. et Derycke A., 1994. « Travail coopératif et groupware », Informatique et Santé, Volume 7 : Informatisation de l'Unité de Soins du Futur, Paris, Springer Verlag, France
- Erceau J., et Ferber J., Juin 1991. « L'intelligence Artificielle Distribuée », La recherche n°233, Volume 22 : pp 750-758.
- Erschler J., Huguet M.J. et De Terssac G., 1997. « Décision distribuée en gestion de production : exploitation et régulation de l'autonomie », Concepts et outils pour les systèmes de production, coord. J.C.HENNET, éd. Cepadues, Toulouse, pp. 109-131 (ISBN 2-85428-437-2).
- Ferber J., 1994 « Coopération réactive et émergence », Intellectica, 19, pp. 19-52
- Florea A.M. « Agents et Systèmes Multi-agents », Université "Politehnica" de Bucarest, http://turing.cs.pub.ro/au22/debut_chapitre2
- Inbar M., 1979. « Routine Decision-Making The Future of Bureaucracy Beverly Hills » : Saje
- Le Quere Y., Sevaux M., Tahon C. et Trentesaux D., 2003. « Modèle de coopération d'un processus de ré-ordonnement distribué ».
- MH.Hung, KY.Chen, RW.Ho, FT.Cheng. «Development of an e-diagnostic/maintenance framework for semiconductor factories with security considerations.» Advanced Engineering Informatics, 17, 2003.
- Martin J.C., 1999. « TYCOON : Six primitive types of coopération for observing, evaluating and specifying cooperations », LIMSI-CNRS.
- Newton., 1985. «Technology and cooperative work labour among the Orokaiva ». Manking; 15: pp 214-222
- Pavard B., 1994. « Systèmes coopératifs : de la modélisation à la conception », OCTARES Editions, Première édition, Toulouse France, (ISBN 2-906769-18-5).
- Sébastien P., Janvier 2003. « Piranhas 2 : Concepts et réalisation ».
- Ulrich Gräber. Advanced maintenance strategies for power plant operators introducing interplant lifecycle management. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 81, 2004.